

**SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO PARA UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA A ESCALA.**

ANDRÉS EDUARDO GOENAGA DE LA ASUNCIÓN

ÁNGEL ENRIQUE PALMA MARTINEZ



UNIVERSIDAD DE LA COSTA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN Y ELECTRÓNICA

BARRANQUILLA, COLOMBIA

2018

**SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO PARA UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA A ESCALA.**

ANDRÉS EDUARDO GOENAGA DE LA ASUNCIÓN

ÁNGEL ENRIQUE PALMA MARTINEZ

PROYECTO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

TUTOR

ING. HEYDER PAEZ LOGREIRA

COTUTOR

MG. ZHOE COMAS GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD DE LA COSTA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN Y ELECTRÓNICA

BARRANQUILLA, COLOMBIA

2018

Dedicatoria

Dedico este trabajo a la persona más importante que tengo en mi vida y quien ha sido mi inspiración para llegar hasta donde hoy he llegado, mi abuela Fidia Peña quien nunca ha dudado de mis capacidades y para quien es un orgullo dedicarle toda mi carrera profesional.

A mis padres Pradys De La Asunción y Roberto Goenaga por darme la posibilidad de estudiar una carrera profesional y brindarme incondicionalmente su apoyo a lo largo de este camino.

A mi hermano Roberto José quien en momentos de dificultad estuvo ahí para que yo pudiera terminar mis estudios.

A mi novia, Lucia Fernanda Thomas, quien desde que llego a mi vida ha sido una persona incondicional en todo momento y se ha preocupado para que termine mi carrera profesional.

Andres Eduardo Goenaga De La Asunción

Dedico este trabajo principalmente a Dios por darme la sabiduría y la salud para poder culminar con las metas trazadas hasta este momento y poder finalizar de manera satisfactoria mis estudios.

A mis padre Ángel Palma y mi madre Rubby Martínez que durante el transcurso de la carrera velaron por mi bienestar para que pudiera sacar adelante mis notas, y su apoyo durante la realización de este proyecto.

A mi tío José Palma que durante todo el proceso estuvo pendiente del avance del proyecto y nos ayudaba a no bajar los brazos y seguir adelante para entregar los resultados en el menor tiempo.

A mi primo Víctor José que siempre ha estado pendiente del avance del proyecto y que con su ayuda me permitió terminar mi carrera.

Angel Enrique Palma Martínez

Agradecimientos

Los autores agradecen sinceramente:

Al Ing. Heyder Páez por creer en nosotros y aceptar ser nuestro guía no solo durante la realización de este proyecto, sino durante el desarrollo de nuestras habilidades durante la carrera. Asimismo por la asesoría su buena disposición y su hospitalidad.

Al ingeniero Kelvin Beleño quien en un principio nos dio la idea de realizar este proyecto y nos acompañó en las primeras etapas de este.

A la Ing. Zhoe Comas por impulsar la etapa final de nuestro proyecto, brindando toda la asesoría en lo relacionado al trámite de entrega y formatos exigidos, tiempos de entrega revisiones y demás.

Resumen

El acero es un material muy usado en la actualidad, sin embargo, tiene la limitante de que se corroe al estar expuesto, por lo que este es tratado químicamente para protegerlo de esta corrosión. Dicho proceso genera aguas residuales las cuales son altamente contaminantes. Es por esto que se propuso desarrollar un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales de bajo costo, pero con la robustez necesaria para llevar a cabo su labor en un entorno industrial, es por ello que se decidió utilizar la plataforma arduino. Para el desarrollo de este proyecto se tuvo en cuenta diferentes métodos para el tratamiento de aguas residuales, y se buscó la forma de automatizar el proceso, para hacerlo más eficaz. El proyecto plantea la implementación de un web service para la etapa de monitoreo, lo que le permitirá a los usuarios o encargados del proceso hacer un seguimiento en tiempo real, y desde cualquier lugar y dispositivo.

Palabras clave: Arduino, monitoreo, tratamiento de agua, automatización, proceso químico.

Abstract

Steel is a material widely used nowadays, however, it has as limitation that it corrodes itself when it is exposed. For this reason, it has to be chemically treated to protect it from the corrosion. This chemical process generates wastewater which is highly polluting, and according to this argument, it was proposed to develop a low-cost wastewater treatment plant prototype that can work in appropriate industrial environments. Since it has to be low-cost, it was decided to work with Arduino as part of the technological solution. For the development of this project, different methods for the treatment of wastewater were analyzed, looking for different ways to automate the process and to make it more effective.

The project also proposes to implement a web service for the monitoring stage, which will allow users to follow up the process in real time through mobile devices.

Keyword: Arduino, monitoring, wastewater treatment, automation, chemical process.

Contenido

Introducción	12
Descripción del problema	14
Objetivos de la investigación	16
Objetivo general	16
Objetivo específicos	16
Justificación	17
Marco teórico y estado del arte	19
Sistema de control	19
Sistema de monitoreo.	20
Tratamiento físico químico de aguas residuales de la industrial del sector textil	21
Tratamiento de aguas residuales de la industria del papel mediante la coagulación - electroflotación.	22
Control de pH para planta de tratamiento de aguas residuales	23
Metodología	27
Resultados	29
Arquitectura	29
Etapa electrónica	30
Etapa mecánica	30
Etapa de monitoreo	31
Factores de incidencia	32
Instrumentación requerida	36
Validación y funcionamiento del sistema	37
Referencias	39

Lista de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1. Estado del arte.	26
Tabla 2. Arquitectura del sistema.	30
Tabla 3. Valores de resistencia vs lectura análoga según las pulgadas del sensor de nivel.	36

Figuras

Figura 1. Ejemplo Ósmosis y Ósmosis inversa.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. Ejemplo de flotación por aire disuelto (“Decantación-Flotación,” n.d.)	22
Figura 3. Etapa electrónica.	30
Figura 4. Etapa mecánica.	31
Figura 5. Modelo general de comunicación.	32
Figura 6. Diagrama de flujo del sistema.	34
Figura 7. Comparativa resistencia vs valor de lectura análoga sensor de nivel.	35
Figura 8. Captura tomada de página web desde un ordenador.	37
Figura 9. Captura tomada de página web desde un dispositivo móvil.	38

Lista de anexos

Se anexa video del funcionamiento del prototipo en el CD.

Glosario

Arduino: es una plataforma de prototipos electrónicos de código abierto (open source).

Ethernet: es un estándar de redes de área local por sus siglas en español Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones.

Galvanizado: es un proceso electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro.

Ósmosis: Difusión que tiene lugar entre dos líquidos o gases capaces de mezclarse a través de un tabique o membrana semipermeable.

Relé: Dispositivo electromagnético que, estimulado por una corriente eléctrica muy débil, abre o cierra un circuito en el cual se disipa una potencia mayor que en el circuito estimulador.

Shield: expansión de módulos usada para aumentar la capacidad de operación de la plataforma Arduino.

Web service: es una tecnología que utiliza un conjunto de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones incluso si han sido programadas en diferentes lenguajes.

Introducción

En el transcurso de la historia, la ingeniería electrónica ha tenido una aplicación significativa en distintas áreas de desarrollo. Por ejemplo, la robótica, control y automatización industrial, y las telecomunicaciones responden a las necesidades y cambios que requieren los distintos sectores productivos.

En el área de control y automatización industrial se utilizan sistemas de control y monitoreo para interactuar con el proceso de manera inmediata y segura. Esto ayuda a visualizar cómo se está desarrollando cada etapa del proceso en tiempo real, prevenir posibles anomalías que se pueden presentar en él, garantiza la calidad del producto final y reduce el contacto físico del operador con el proceso. Todo esto, es una ventaja para la seguridad de los trabajadores y en términos de precisión y rapidez para tomar decisiones.

Uno de los procesos industriales que requiere de control y monitoreo es la creación de láminas galvanizadas. En este se utilizan grandes cantidades de agua y químicos, con la desventaja de que el agua residual procedente del proceso no puede ser reutilizada debido a que afectaría el resultado del producto final. Esto conlleva a que la empresa tenga un mayor gasto, ya que debe deshacerse de esa agua residual y debe volver a llenar sus tanques para realizar el proceso nuevamente.

En este proyecto se propone la implementación de un web service en el sistema de control, que tendrá la facultad de mostrar una interfaz gráfica de fácil acceso, con la posibilidad de monitorear todas las etapas del proceso sin consumir grandes recursos en las placas de programación. Esto posibilita la utilización de sistemas más económicos para realizar el proceso sin afectar el rendimiento del sistema. Además, la empresa podrá reutilizar el agua luego de que salga del tratamiento, para diversas actividades lo que le representará un ahorro significativo en su inversión a mediano y largo plazo.

En concordancia con lo anterior, la implementación de un prototipo de control y monitoreo resulta útil, no solo visto desde la innovación en el proceso electrónico-industrial propiamente, sino en la praxis académica de los estudiantes de la Universidad de la Costa en los laboratorios de automatización y comunicaciones, con el fin de relacionar los conceptos teóricos con la aplicación real de los procesos industriales.

1. Descripción del problema

El acero es un material muy importante en el mundo moderno, es utilizado en la construcción como en la industria del transporte por su alta resistencia. Sin embargo, tiene la limitante de que se corroe al estar expuesto, por lo que debe ser protegido ya sea por aleación pintura o galvanización.

El proceso de galvanizado es usado para proteger las láminas de acero de la corrosión, cubriendolas con un baño de Zinc. Antes de realizar el proceso con el Zinc, la lámina de acero debe pasar por un proceso de desengrase para luego pasar a un baño con agua fría que elimina el desengrasante. Posteriormente la lámina recibe un baño de ácido clorhídrico para eliminar el óxido de su superficie. Una vez terminado este proceso, la lámina recibe un baño de agua caliente para quitar el óxido removido en el proceso anterior, para luego ser calentada y sumergida en un tanque con flux, con el propósito de que gane más adherencia al zinc. Por último, la lámina se sumerge en un baño de Zinc y luego se introduce en un tanque de agua fría para normalizar su temperatura.

El agua residual, producto del proceso de galvanización resulta imposible de reutilizar dado que adquiere una coloración y unas características químicas que afectarían el resultado y calidad del producto final. La empresa estaría en la obligación de llenar sus depósitos con agua limpia, lo que se refleja en un gasto económico elevado y en un consumo excesivo de este recurso.

El departamento del Atlántico se caracteriza por ser una zona árida o seca con escasez de agua potable en algunos sectores. En los últimos años, este departamento se ha visto afectado negativamente por fenómenos ambientales. El fenómeno del niño, por ejemplo, produce una fuerte sequía en la Región Caribe en especial el departamento del Atlántico.

La falta de cuidado de estas afluentes disminuye la disponibilidad de este recurso natural (agua), que es utilizado no solo para el consumo humano, sino también en la industria como parte de los procesos que desarrollan. El consumo de agua en procesos industriales agudiza la problemática de la escasez del líquido debido a que, en muchos casos, el agua residual producto de estos procesos es regresado al medio ambiente en condiciones no aptas para el consumo, contaminando así los distintos afluentes en las cuales son vertidas.

Esta situación conlleva a plantear el siguiente cuestionamiento:

¿Cuál es la arquitectura de un sistema para el control y monitoreo electrónico para una planta de tratamiento de aguas residuales aplicable a la industria metalúrgica?

De ser así, ¿Cuál es la técnica aplicable al tratamiento de aguas residuales?

2. Objetivos de la investigación

2.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de control y monitoreo para un diseño a escala de planta de tratamiento de aguas residuales aplicable a la industria metalúrgica.

2.2. Objetivo específicos

- Analizar los factores del proceso de tratamiento de agua que inciden sobre el diseño del sistema de control y monitoreo.
- Establecer una arquitectura para control y monitoreo de las variables del proceso de tratamiento de agua a través de internet.
- Validar el funcionamiento del sistema de control y monitoreo mediante un diseño a escala que emule el proceso de tratamiento de agua.

3. Justificación

El uso de agua en los procesos industriales provoca índices elevados de contaminación en las afluentes donde son vertidas al finalizar el proceso. Debido a esto, empresas estatales se han puesto en la tarea de ejercer un control exhaustivo sobre el sector industrial, imponiendo sanciones, multas y hasta el cierre definitivo de las empresas que no cumplan con lo establecido por la ley.

A razón de esto, las empresas y municipios han invertido en proyectos para la recuperación del agua residual que producen a lo largo de sus procesos, encontrando la posibilidad muchas veces de poderla reutilizar y obtener beneficios económicos al no tener que reabastecerse con agua 100% potable cada vez que inicie un nuevo proceso.

Cabe destacar que a nivel nacional el país sigue en mora en materia de tratamiento de aguas residuales, donde siete de cada diez municipios no tratan sus aguas residuales. Según las últimas revisiones de la Asociación colombiana de ingeniería (Acodal) solo 31 por ciento de las ciudades colombianas cuenta con sistemas de tratamiento de estas corrientes.

(“Tratamiento de aguas residuales en Colombia - Medio Ambiente - Vida - ELTIEMPO.COM,” n.d.)

Este proyecto se llevará a cabo con el propósito de posibilitar una mayor reutilización del agua en el proceso de galvanizado, reduciendo el daño que esta puede causar en torno al cuidado de las condiciones ambientales y la correcta utilización de los recursos naturales y preservación de especies. No sólo representaría una reducción en el uso de un recurso natural como el agua, sino también, a mediano y largo plazo, reflejan una reducción de costos de producción en el proceso de galvanizado.

El diseño y la implementación de nuevos procesos industriales que contribuyan a disminuir el daño de los cuerpos de agua, será de vital importancia en empresas cuya

producción depende de este recurso natural, y para aquellas comunidades que utilizan los diferentes afluentes para su sustento diario.

Por otra parte, aquellas empresas que hagan uso de estas herramientas, podrán reutilizar el agua en el proceso una mayor cantidad de veces, lo que representará una disminución en el abastecimiento con agua limpia y evidentemente en los costos de inversión.

4. Marco teórico y estado del arte

4.1. Sistema de control

Un sistema de control se puede definir como un tipo de sistema que se caracteriza por la presencia de ciertos elementos que pueden influir en el funcionamiento del mismo, y que busca mediante la manipulación de ciertas variables de control, un dominio sobre las variables de salida hasta que estas alcancen unos valores prefijados (Variables, 2016).

Entre los requisitos que debe tener un sistema de control se encuentran:

1. Ser estable y robusto, para evitar las perturbaciones y errores en el modelado.
2. Ser lo más eficiente posible, teniendo en cuenta criterios y condiciones establecidas con anterioridad, evitando comportamientos bruscos e irreales.
3. Ser fácil de implementar y operar.

Un sistema de control está conformado por los siguientes elementos:

- Sensores: permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.
- Controlador: recopila la información suministrada por los sensores y la consigna impuesta para calcular la acción que debe aplicarse para la modificación de las variables de control.
- Actuador: es el encargado de ejecutar la acción calculada por el controlador.

Los criterios considerados para la implementación de los sistemas de control Según Georges y Litrico (2002) son:

- Variables consideradas.
- Estrategia de control.
- Los métodos de diseño.

- La implementación en obra.

En un sistema de control se pueden considerar cuatro tipos de variables, como lo son las perturbaciones, las variables controladas, las variables de control y las variables medidas (Variables, 2016).

Las perturbaciones son variables desconocidas, es decir, no se pueden medir, pero sus efectos sobre las variables medidas permiten detectar su presencia.

Las variables controladas son aquellas sobre las cuales se aplican los valores de consigna, como el nivel del agua en el tanque de mezclado.

Con el paso del tiempo se han ido aplicando diferentes técnicas para el tratamiento de aguas residuales en la industria. Estas técnicas varían unas de otras de acuerdo al sector y al tipo de material residual que se va a tratar. Es por eso que se tendrán en cuenta varios sistemas de tratamientos de agua para poder establecer el mejor modelo para este proyecto.

4.2. Sistema de monitoreo.

Un sistema de monitoreo está definido como un dispositivo de seguimiento que permite recolectar, tratar, analizar y difundir información con un conjunto de actores involucrados en la implementación de un proyecto, a fin de contribuir a la decisión, de informar y de capitalizar. (Guía metodológica, n.d.)

El sistema de monitoreo de este proyecto está basado en la plataforma heroku, en donde se podrá visualizar en tiempo real el estado del proceso y los datos de las variables obtenidas en el mismo.

4.3. Tratamiento físico químico de aguas residuales de la industrial del sector textil

En este artículo el autor estableció una planta de tratamiento físico químico para el sector industrial textil, que separa los contaminantes floculados y coagulados mediante flotación por aire disuelto y la filtración de los lodos del agua clarificada por osmosis inversa.

La flotación por aire disuelto consiste en la separación de las partículas en suspensión mediante burbujas de aire. Estas partículas se adhieren a las burbujas en su recorrido ascendente y son separados por un barredor en la superficie. Este proceso clarifica el agua y luego se filtran los lodos por osmosis inversa (Aguilar, 2002).

La ósmosis inversa consiste en hacer pasar el agua con un poco de presión por una membrana semipermeable, para filtrar iones y partículas más grandes del agua potable.

De los resultados encontrados en este artículo podemos resaltar:

- La reacción de coagulación-floculación no tiene dependencia de la temperatura entre los 20°C a 50°C, qué es el intervalo en las descargas de planta.
- La remoción de los tintes es de un 90%.
- Se obtuvo una eficacia mayor usando una combinación de sal de aluminio como coagulante y un polímero aniónico de peso molecular medio y carga aniónica media (15 meq /gr.) como floculante.

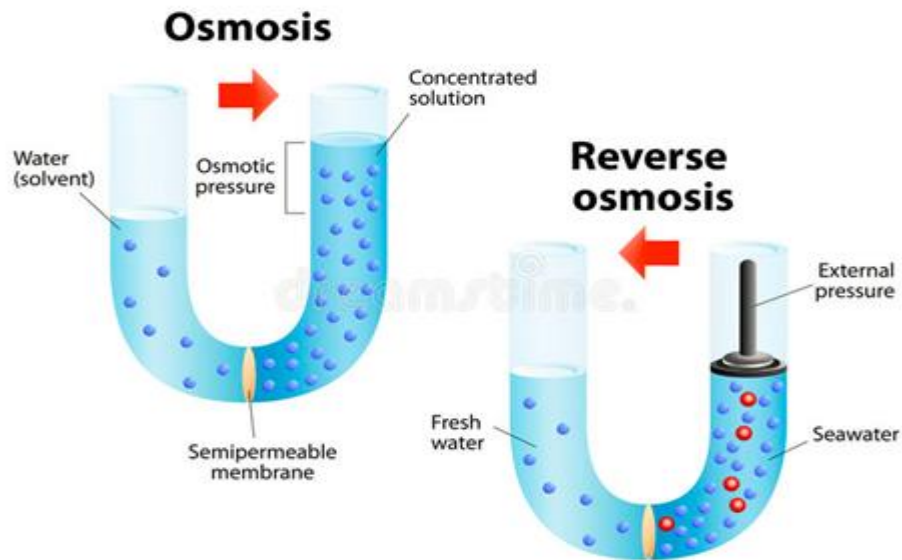


Figura 1. Ejemplo Ósmosis y Ósmosis inversa. ("Osmosis And Reverse Osmosis Stock Vector - Illustration of liquid, holes: 36770523," n.d.)

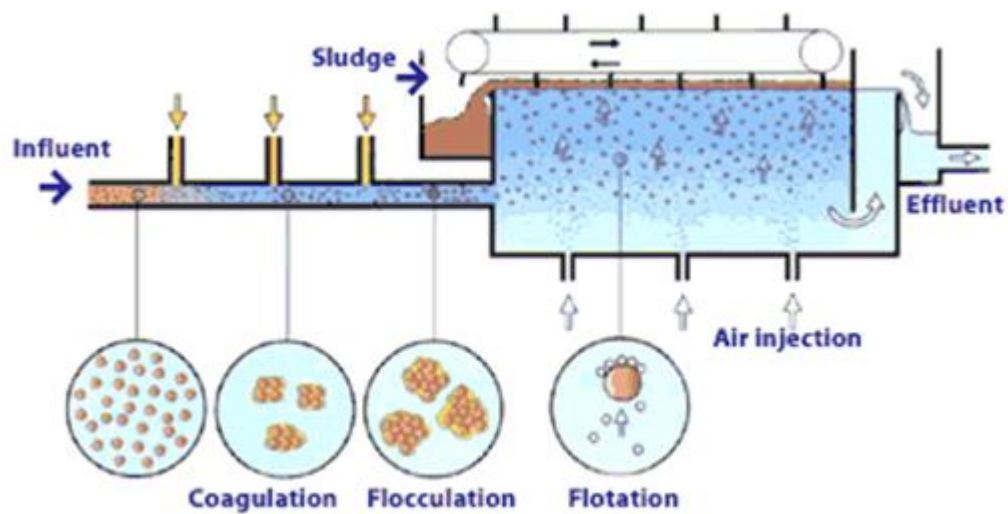


Figura 2. Ejemplo de flotación por aire disuelto ("Decantación-Flotación," n.d.)

4.4. Tratamiento de aguas residuales de la industria del papel mediante la coagulación - electroflotación.

El papel se produce a partir de la madera, esta pasa por varias etapas en el proceso como son la roza, la ebullición en hidróxido de sodio, dilución y lavado. Estas etapas operan

con grandes cantidades de agua dependiendo de la proporción de sus componentes, ya que esta variación influye en la calidad y tipo de papel que se quiere producir.

El agua residual resultante de este proceso no solo produce sólidos en suspensión, sino que también contiene una considerable cantidad de DQO (demanda química de oxígeno) y DBO (demanda bioquímica de oxígeno).

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de dióxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

Esto constituye un tratamiento físico químico convencional de los efluentes y este consta de un tratamiento clásico como la coagulación y floculación, sedimentación y manejo de lodos.

- Para tratar los efluentes de la industria de papel que contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión puede ser muy efectivo el proceso de coagulación-electroflotación.
- Se realizaron caracterizaciones físico químicas antes y después del tratamiento y se evidencia que la técnica de coagulación - electroflotación se puede usar con éxito.
- Los sólidos suspendidos se redujeron en 95%.

4.5. Control de pH para planta de tratamiento de aguas residuales

En este artículo se documentó el desarrollo e implementación de un controlador clásico PI con un PLC para una PTAR (Planta de tratamiento de agua residual), la cual debe

tratar aguas que vienen provenientes de la producción de jugos con un pH que oscila entre pH 2-5. Para este tratamiento se usó soda cáustica al 0.04%, y con valores de pH que oscilan entre pH 9-11. El resultado obtenido se simula en Matlab.

El trabajo se dividió en tres secciones, una en la que se desarrolla el modelo del reactor, el diseño del controlador y planta, con el fin de mostrar simulaciones en MatLab. En la segunda parte se desarrolla el montaje eléctrico y el mecánico, por último, en la tercera fase se muestran los resultados antes y después del controlador. (Amaya Wilson, Cañon Oscar, 2004)

Tabla 1.

Estado del arte.

TÍTULO	AUTOR	AÑO	TIPO	HALLAZGOS ADOPTADOS	FACTOR DIFERENCIADOR
Tratamiento físico químico de aguas residuales de la industrial del sector textil.	G. Salas Colotta	2003	Artículo	Tratamiento de agua por separación de residuos.	Separación de residuos por floculación y no por flotación por aire disuelto.

Tratamiento de aguas residuales de la industria del papel mediante la coagulación - electroflotación.				Utilización de floculantes para agrupar los residuos presentes en el líquido a tratar.	Monitoreo remoto del proceso, utilización de elementos de control.
Control de pH para planta de tratamiento de aguas residuales.	Wilson Fabian Amaya, Oscar Alberto Cañon, Oscar F. Aviles.	2004	Artículo	Utilizar la variable pH para determinar la reutilización del agua.	El experimento es práctico.

Fuente propia.

5. Metodología

Esta investigación se caracteriza principalmente por ser de tipo cualitativo ya que recopila de manera detallada el diseño, instrumentación, construcción y verificación del sistema de control y monitoreo aplicable al tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria metalúrgica. Es entonces que se enmarca bajo el corte descriptivo ya que implica la conjunción de los procesos de observación y descripción de los componentes y características del diseño a escala.

Es de tipo experimental porque implica el diseño y construcción de una arquitectura de control y monitoreo de las variables de incidencia dentro del proceso de tratamiento de aguas residuales, teniendo como base la revisión bibliográfica de fuentes primarias (monografías, tesis, disertaciones) y secundarias (revistas que comentan libros, otras revistas, artículos científicos.). Si bien existen diferentes sistemas automatizados aplicables al tratamiento de aguas residuales, aún no se ha encontrado uno que utilice plataformas de bajo consumo energético para el control y monitoreo de procesos industriales. Es de estudio correlacional, pues tiene como fin mantener el equilibrio de parámetros, variables e indicadores establecidos, con el fin optimizar en función y utilidad el proceso industrial a partir del control y monitoreo electrónico.

El trabajo se llevará a cabo en 4 Fases descritas a continuación:

Fase 1. Documentación bibliográfica relacionada con los temas de: sistemas de control, sistemas de monitoreo y tratamiento de aguas previo a su vertimiento (Fuentes primaria y secundaria).

Fase 2. Determinar los factores de incidencia como punto de partida para el diseño y construcción de un sistema que permita actuar sobre las variables implicadas en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

Fase 3. Diseño a escala de un sistema de control y monitoreo de bajo consumo energético y acceso a los datos en tiempo real desde cualquier dispositivo con conexión a internet.

Fase 4. Validación y ajustes. Se llevan a cabo pruebas para detección de errores y mejoras al diseño a escala.

- Diseño Experimental.

En esta investigación, el diseño experimental consiste en establecer una técnica de control y monitoreo con la capacidad de transmitir datos de las variables e indicadores en tiempo real, a través de un web service, implementado en plataformas de bajo consumo de potencia.

- Procedimiento Experimental
- (toma de muestras)

6. Resultados

6.1. Arquitectura

La arquitectura empleada para la realización del sistema de control y monitoreo para planta piloto de tratamiento de agua se ve detallada en la tabla 1. En esta se muestra de manera general los equipos utilizados y la función que desempeñan en el sistema.

La arquitectura de este sistema está dividida en tres etapas que son, electrónica, mecánica y monitoreo las cuales se establecerán más adelante.

Tabla 2.

Arquitectura del sistema.

SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA A ESCALA.	
ARQUITECTURA DEL SISTEMA	
SISTEMA DE CONTROL	PLACA ARDUINO
COMUNICACIÓN	SHIELD ETHERNET
MONITOREO	PLATAFORMA EN HEROKU
SENSORES	SENSOR DE PH
	SENSOR DE NIVEL RESISTIVO
ACTUADORES	BOMBA ELÉCTRICA

	MOTOR
	SHIELD DE RELÉ
ALMACENAMIENTO	TANQUES DE ACRÍLICO
	TUBERÍAS PLÁSTICAS

Fuente propia.

6.1.1. Etapa electrónica

En esta etapa se da a lugar la etapa de control y programación del sistema, aquí el arduino procesa los datos obtenidos por los sensores, toma la decisión y hace que los actuadores cumplan sus funciones de acuerdo a lo establecido en la programación.

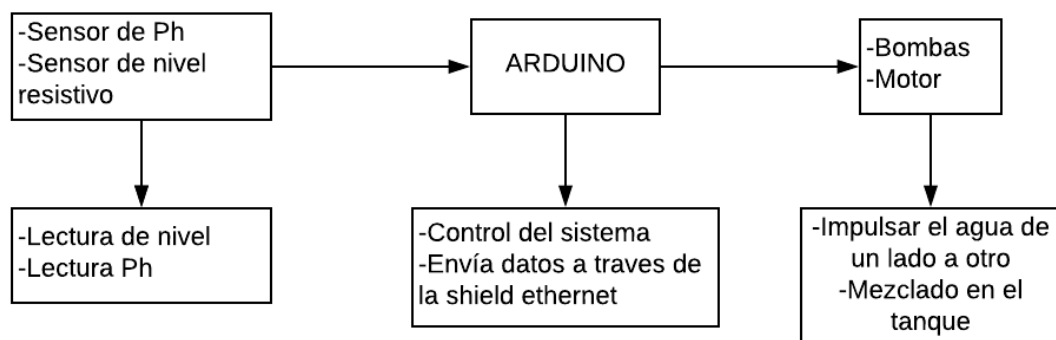


Figura 3. Etapa electrónica.

Fuente propia.

6.1.2. Etapa mecánica

En esta etapa se hace una breve reseña de los elementos de naturaleza mecánica que intervienen en el sistema. Como los tanques, las tuberías, el motor y las bombas.

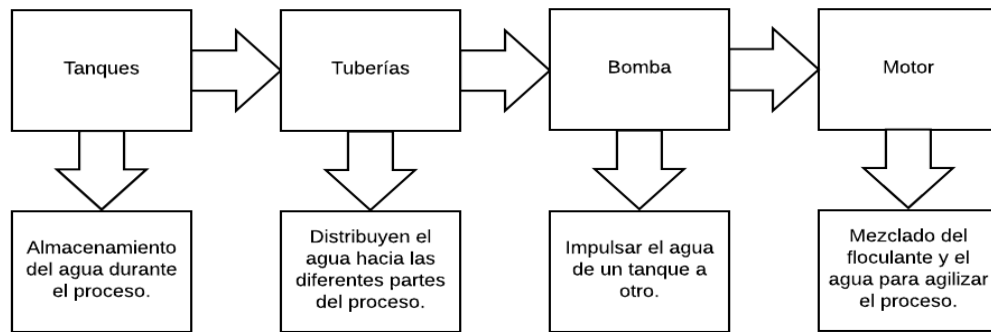


Figura 4. Etapa mecánica.

Fuente propia.

6.1.3. Etapa de monitoreo

Mediante el uso de una shield ethernet, el arduino se comunica con un servidor encargado del almacenamiento y de la visualización de los datos en tiempo real, aun estando fuera de la red local.

Para este proyecto se utilizó la plataforma heroku, en donde se desarrollaron todas las características visuales y de almacenamiento del proceso. En la figura 5 se muestra la manera como se produce la comunicación entre estas plataformas.

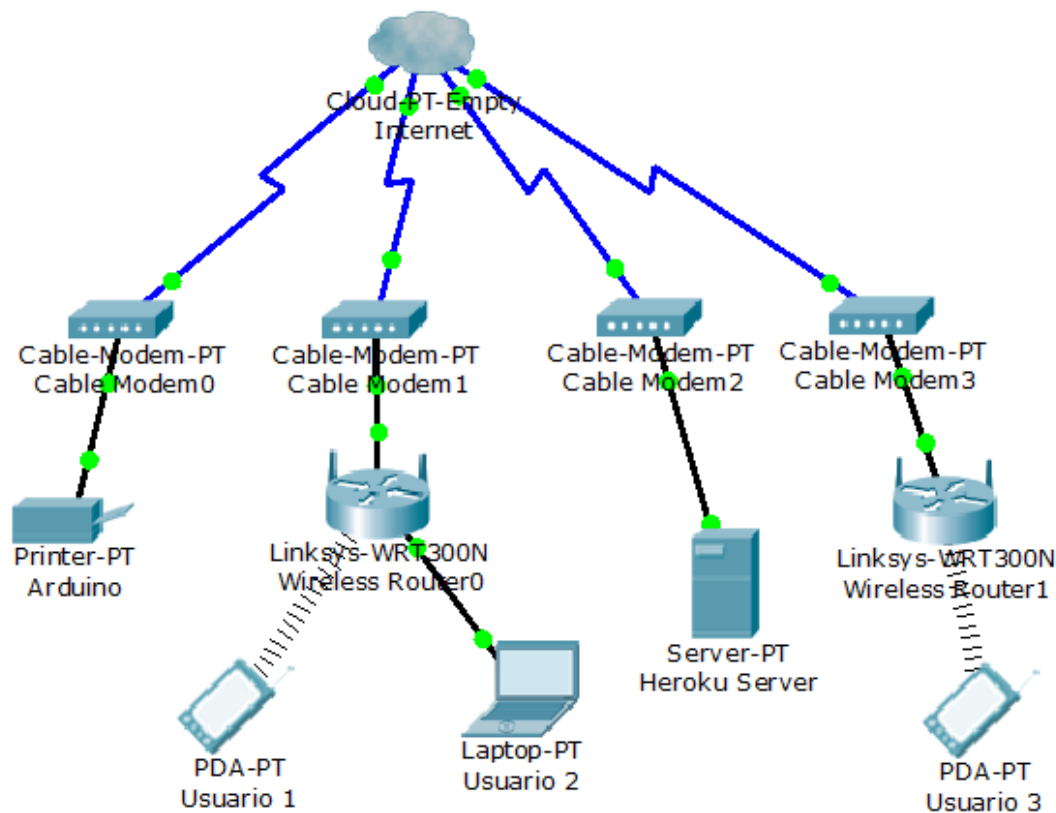


Figura 5. Modelo general de comunicación.

Fuente propia.

6.2. Factores de incidencia

Hay algunas variables que se deben tener en cuenta para el correcto funcionamiento de la planta de tratamientos de aguas residuales. Para efectos de este trabajo se tomaron dos de ellas, como son el pH del agua y el nivel de esta en el tanque de mezclado.

Para ello, el arduino sensará el nivel del agua en el tanque de llenado por medio de un sensor de nivel resistivo. En caso de que el tanque no esté lleno, el arduino dará la orden para activar una bomba de agua que empezará a llenar el tanque hasta el nivel requerido. Una vez el tanque esté lleno, se determinará el pH del agua con un sensor de pH. De ser diferente a 7 (que es la medida de control para el agua) se agregará el floculante, el cual es el encargado de atrapar las partículas en el agua y enviarlas al fondo del tanque. Para acelerar el proceso el

arduino activará un motor con una hélice por diez minutos para revolver la mezcla. Una vez finalizado este proceso, se debe esperar a que las partículas se asienten en el fondo del tanque, esto toma alrededor de una hora. Una vez el tiempo ha transcurrido se debe hacer otra toma de pH para garantizar que el agua ya se encuentra en condiciones de ser reutilizada.

En la figura 6 se puede apreciar el diagrama de flujo del sistema.

Hay otras variables que podrían ser tenidas en cuenta para hacer el proceso un poco más sofisticado y confiable, como son la temperatura del agua que puede afectar el proceso químico que se dá al momento de agregar el floculante y la turbidez del líquido al terminar el proceso, ya que este debe ser totalmente transparente para poder ser reutilizado. En este proyecto no serán tenidas en cuenta por temas presupuestales, sin embargo una de las ventajas que este sistema ofrece es que puede ser fácilmente escalable, y estos sensores podrán ser agregados a él.

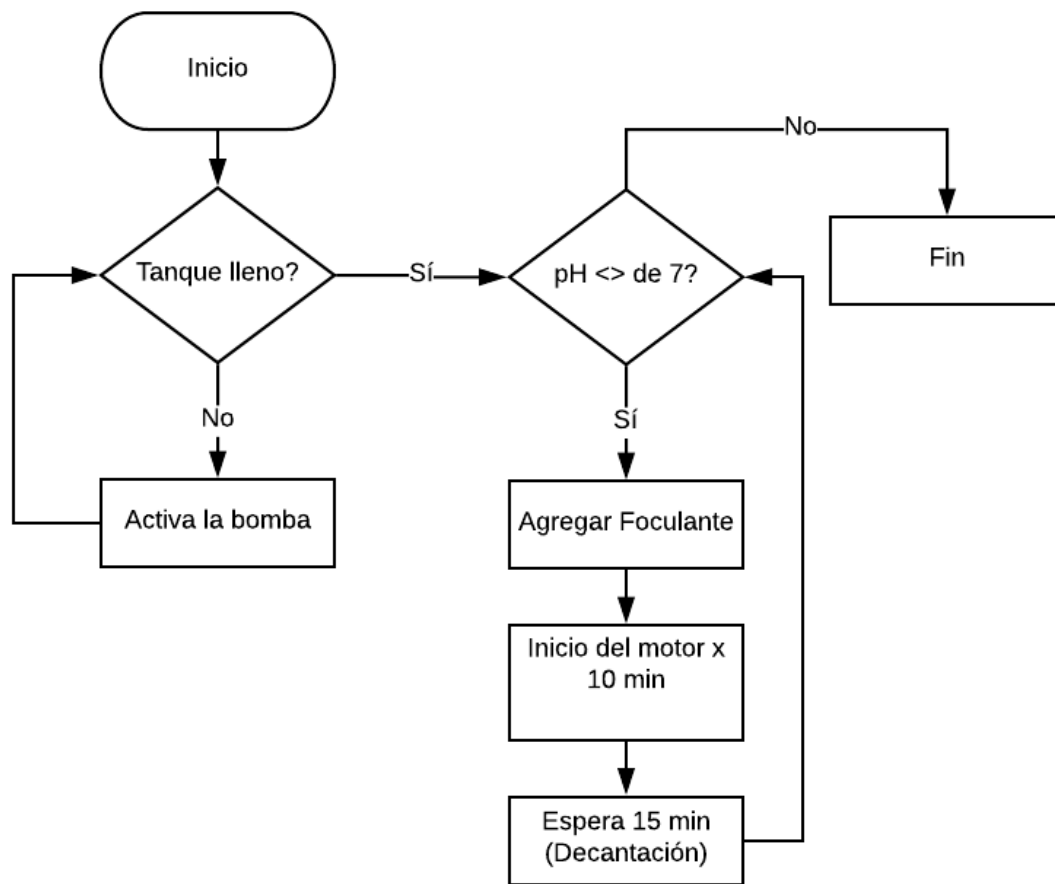


Figura 6. Diagrama de flujo del sistema.

Fuente propia

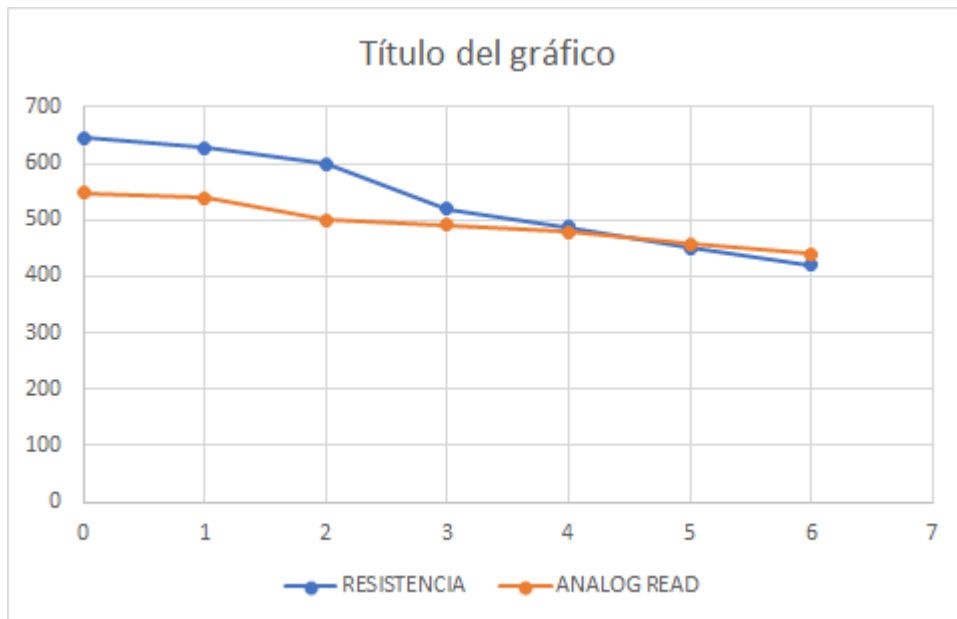


Figura 7. Comparativa resistencia vs valor de lectura análoga sensor de nivel.

Fuente propia.

Tabla 3.

Valores de resistencia vs lectura análoga según las pulgadas del sensor de nivel.

PULGADAS	RESISTENCIA	ANALOG READ
0	646	548
1	628	540
2	600	500
3	520	492
4	487	478
5	450	458
6	420	439

Fuente propia.

6.3. Instrumentación requerida

Para el desarrollo de este proyecto se decidió utilizar una placa de Arduino Mega integrada con una Shield Ethernet y una Shield de Relés, además de un sensor de pH y uno de nivel resistivo.

Debido a que la capacidad de procesamiento del Arduino es muy limitada, se decidió que este solo se encargaría de la parte de control de la planta, y en un servidor externo, en este caso la plataforma Heroku, la que se encargaría de la parte de monitoreo del sistema. Para ello se agregó la figura de un web service al proyecto.

Como se puede ver en el diagrama de flujo en la figura 6, una de las primeras cosas que hace el proceso es verificar el nivel de agua en el tanque de mezclado, para ello se utilizó

un sensor de nivel resistivo, el cual a medida que va cambiando el nivel de agua en el tanque, va variando su resistencia.

Una vez el tanque está lleno, el sensor de pH es el encargado de enviar los datos al arduino para determinar si el líquido se encuentra o no dentro de de las especificaciones requeridas para el agua.

6.4. Validación y funcionamiento del sistema

Una vez implementado el prototipo, se logra establecer una conexión entre el arduino y la plataforma heroku, con la limitante de tener que actualizar la página para visualizar cambios en los datos.



Figura 8. Captura tomada de página web desde un ordenador.

Fuente propia

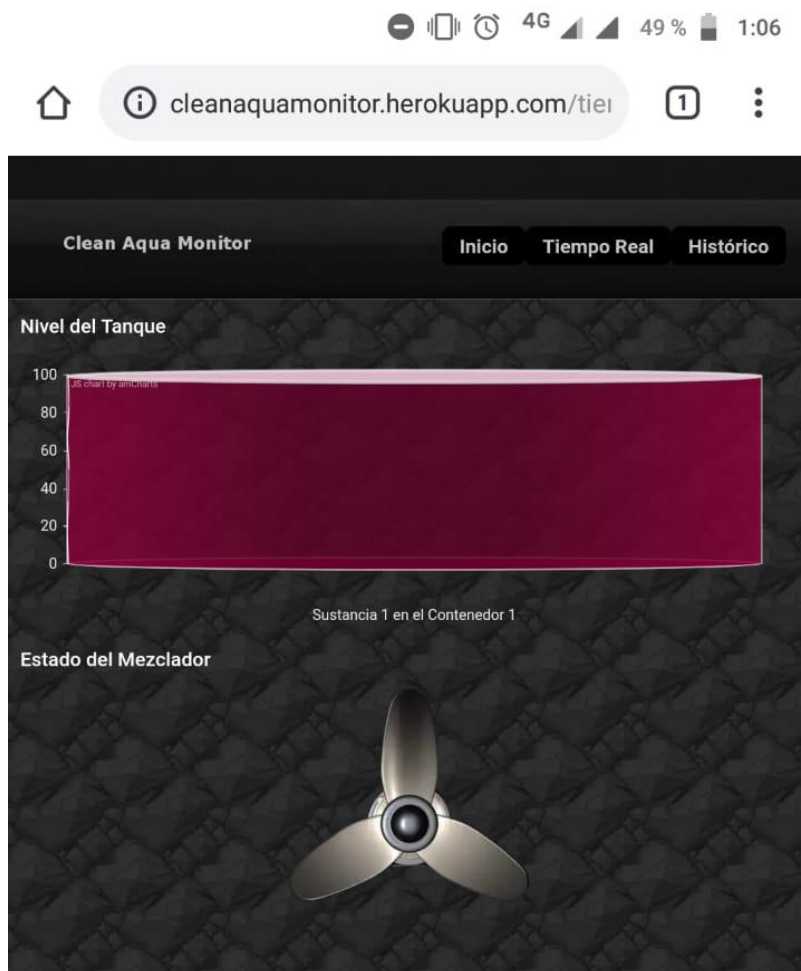


Figura 9. Captura tomada de página web desde un dispositivo móvil.

Fuente propia

El floculante utilizado en este proceso (Alumbre potásico) resultó ser un buen catalizador durante la decantación de las partículas de metal, presentes en el agua a tratar procedente del galvanizado. A pesar de no generar una sedimentación sólida al fondo del tanque como se esperaba, logró reducir la turbidez del agua en comparación a la que se tenía inicialmente.

Considerando el comportamiento general del prototipo, se concluye que una de las mejoras del diseño puede ser la inclusión de un sistema de drenaje para el agua tratada y la utilización de bombas de succión.

7. Referencias

- Aguilar, M. I. (2002). Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación, 5, 64–71. Retrieved from <https://books.google.es/books?id=8v1QBXPvhAUC>
- Amaya Wilson, Cañon Oscar, A. O. (2004). CONTROL DE pH PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. <https://doi.org/10.1021/la0470535>
- Decantación-Flotación. (n.d.). Retrieved December 5, 2018, from <http://www.elaguapotable.com/decantacion.htm>
- Guía metodológica. (n.d.). Retrieved from https://www.tdh.ch/sites/default/files/161019_tdh_guidemonitoring_es_version_impression.pdf
- Osmosis And Reverse Osmosis Stock Vector - Illustration of liquid, holes: 36770523. (n.d.). Retrieved December 5, 2018, from <https://www.dreamstime.com/stock-photos-osmosis-reverse-osmosis-diffusion-fluid-semipermeable-membrane-solution-low-solute-concentration-to-image36770523>
- tratamiento de aguas residuales en Colombia - Medio Ambiente - Vida - ELTIEMPO.COM. (n.d.). *El Tiempo*. Retrieved from <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia-69962>
- Variables, S. (2016). Sistemas de Control - ¿Qué es un sistema de control?, 5–12. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf>